

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード [*] (参考)
H01L 21/322		H01L 21/322	Y 4G077
C30B 29/06		C30B 29/06	A 5F053
	502		502 H
H01L 21/208		H01L 21/208	P

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-328796 (P 2000-328796)

(22) 出願日 平成12年10月27日 (2000. 10. 27)

(71) 出願人 000228925

三菱マテリアルシリコン株式会社
東京都千代田区大手町一丁目5番1号

(72) 発明者 古川 純

東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三
菱マテリアルシリコン株式会社内

(72) 発明者 中嶋 健

埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱
マテリアル株式会社シリコン研究センター
内

(74) 代理人 100085372

弁理士 須田 正義

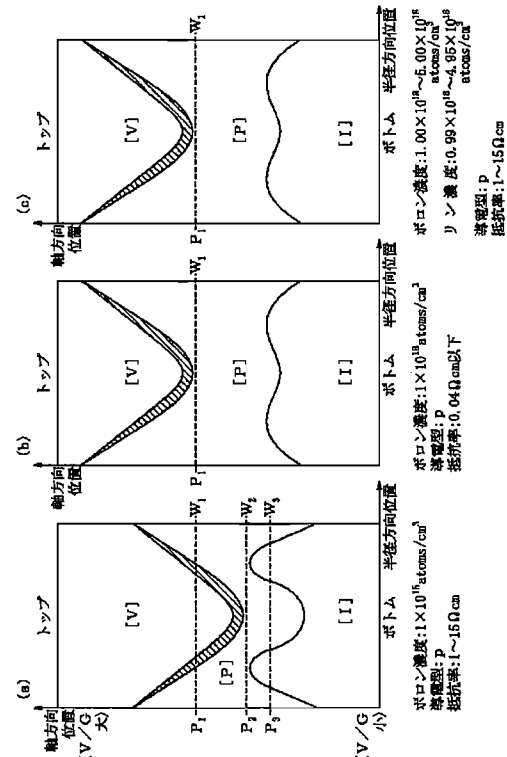
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 抵抗率を調整したシリコンウェーハ及びそのウェーハの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 デバイス工程の熱処理でウェーハ面内で均一なゲッタリング効果が得られ、比較的高い引上げ速度でも点欠陥の凝集体が殆ど存在せず、高い歩留まりで半導体集積回路を製造できる。ウェーハの抵抗率を所望の値に調整し得る。

【解決手段】 点欠陥の凝集体の数が検出下限値である 1×10^3 個/cm³ 以下でありかつ $1 \sim 15 \Omega \text{cm}$ の範囲内に抵抗率を調整した p 型シリコンウェーハである。インゴット中のボロン濃度 C_1 が $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ の範囲内に、リン濃度が $0.90 C_1 \sim 0.999 C_1 \text{ atoms/cm}^3$ の範囲内になるようにボロンとリンをドープリ、かつインゴットの引上げ速度を V とし、シリコン融液とインゴットの接触面のインゴット鉛直方向の温度勾配を G とするとき、ウェーハ状態で熱酸化処理をした際にリング状に発生する OSF がウェーハ中心部で消滅するように、 V/G 値を決めてインゴットを引上げる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 点欠陥の凝集体の検出下限値を 1×10^3 個/ cm^3 とするとき、前記点欠陥の凝集体の数が前記検出下限値以下でありかつ導電型がp型であって、 $1 \sim 15 \Omega \text{cm}$ の範囲内に抵抗率を調整したシリコンウェーハ。

【請求項2】 チョクラスキー法に基づいて、シリコン単結晶インゴット中のp型不純物が所定の第1濃度(C_1)、n型不純物が前記第1濃度より小さい所定の第2濃度(C_2)にそれぞれなるように、前記p型不純物とn型不純物とを原料シリコンを融解したシリコン融液にそれぞれ含ませて、前記シリコン融液からインゴットを引上げ、前記インゴットから抵抗率を調整したシリコンウェーハを製造する方法。

【請求項3】 p型不純物がボロンであり、n型不純物がリン、アンチモン又は砒素であって、シリコン単結晶インゴット中の第1濃度(C_1)が $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20}$ atoms/ cm^3 の範囲内に、第2濃度(C_2)が $0.90C_1 \sim 0.999C_1$ atoms/ cm^3 の範囲内にそれぞれなるように前記p型不純物及びn型不純物をドープリ、かつ前記インゴットの引上げ速度をV (mm/分) とし、シリコン融液とインゴットの接触面におけるインゴット鉛直方向の温度勾配をG ($^{\circ}\text{C}/\text{mm}$) とするとき、ウェーハの状態で熱酸化処理をした際にリング状に発生する酸化誘起積層欠陥がウェーハ中心部で消滅するように、 V/G ($\text{mm}^2/\text{分} \cdot ^{\circ}\text{C}$) の値を決めて前記インゴットを引上げる請求項2記載のシリコンウェーハの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、チョコラルスキー法（以下、CZ法という。）により作られた、抵抗率を調整したシリコンウェーハ及びそのウェーハの製造方法に関する。更に詳しくは点欠陥の凝集体が殆ど存在しない抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{cm}$ のp型のシリコンウェーハ及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、半導体集積回路を製造する工程において、歩留りを低下させる原因として酸化誘起積層欠陥（Oxidation Induced Stacking Fault、以下、OSFという。）の核となる酸素析出物の微小欠陥や、結晶に起因したパーティクル（Crystal Originated Particle、以下、COPという。）や、或いは侵入型転位（Interstitial-type Large Dislocation、以下、LDという。）の存在が挙げられている。OSFは、結晶成長時にその核となる微小欠陥が導入され、半導体デバイスを製造する際の熱酸化工程等で顕在化し、作製したデバイスのリーク電流の増加等の不良原因になる。またCOPは、鏡面研磨後のシリコンウェーハをアンモニアと過酸化水素の混合液で洗浄したときにウェーハ表面に出現す

る結晶に起因したピットである。このウェーハをパーティクルカウンタで測定すると、このピットも本来のパーティクル（異物）とともに光散乱欠陥として検出される。このCOPは電気的特性、例えば酸化膜の経時絶縁破壊特性（Time Dependent dielectric Breakdown、TDDb）、酸化膜耐圧特性（Time Zero Dielectric Breakdown、TZDB）等を劣化させる原因となる。またCOPがウェーハ表面に存在するとデバイスの配線工程において段差を生じ、断線の原因となり得る。そして素子分離部分においてもリーク等の原因となり、製品の歩留りを低くする。更にLDは、転位クラスタとも呼ばれたり、或いはこの欠陥を生じたシリコンウェーハをフッ酸を主成分とする選択エッチング液に浸漬するとピットを生じることから転位ピットとも呼ばれる。このLDも、電気的特性、例えばリーク特性、アイソレーション特性等を劣化させる原因となる。

【0003】 以上のことから、半導体集積回路を製造するために用いられるシリコンウェーハからOSF、COP及びLDを減少させることが必要となっている。このOSF、COP及びLDを有しない無欠陥のシリコンウェーハが特開平11-1393号公報に開示されている。この無欠陥のシリコンウェーハは、シリコン単結晶インゴット内での空孔型点欠陥の凝集体及び格子間シリコン型点欠陥の凝集体がそれぞれ存在しないパーフェクト領域を[P]とすると、パーフェクト領域[P]からなるインゴットから切出されたシリコンウェーハである。パーフェクト領域[P]は、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域[I]と、シリコン単結晶インゴット内で空孔型点欠陥が支配的に存在する領域

[V]との間に介在する。このパーフェクト領域[P]からなるシリコンウェーハは、インゴットの引上げ速度をV (mm/分) とし、シリコン融液とインゴットの接触面におけるインゴット鉛直方向の温度勾配をG ($^{\circ}\text{C}/\text{mm}$) とするとき、熱酸化処理をした際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅するように、 V/G ($\text{mm}^2/\text{分} \cdot ^{\circ}\text{C}$) の値を決めて作られる。一方、シリコンウェーハはOSF、COP及びLDを有しない上に、既存のデバイス工程との整合を図るために、抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{cm}$ の範囲内にいることが求められる。また半導体デバイスメーカーの中には、デバイス工程で生じる金属汚染をゲッタリングする能力を有するシリコンウェーハを求める場合がある。ゲッタリング能力が十分に備わっていないウェーハでは、デバイス工程で金属により汚染されると、接合リークや、金属不純物によるトラップ準位によるデバイスの動作不良等を生じ、これにより製品の歩留りが低下する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上記パーフェクト領域[P]からなるインゴットから切出されたシリコンウェーハは、通常抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{cm}$ であり、OSF、

10

20

30

40

50

COP及びLDを有しないけれども、デバイス工程の熱処理において、必ずしもウェーハ面内で均一に酸素析出が起らず、これによりゲッタリング効果が十分に得られない場合がある。またパーフェクト領域[P]からなるシリコンウェーハを作り出す V/G 値は、温度勾配 G が一定である場合、インゴットの引上げ速度 V に比例し、狭い範囲に制御された比較的低い速度でインゴットを引上げることが要求されるが、この要求を確実に充足することは技術的に必ずしも容易ではなく、インゴットの生産性も高くない。

【0005】本発明の目的は、比較的高い速度でかつ広い範囲の V/G 値でインゴットを引上げても点欠陥の凝集体が殆ど存在せず、高い歩留まりで半導体集積回路を製造でき、抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ であることにより、既存のデバイス工程との整合を図ることができるシリコンウェーハ及びその製造方法を提供することにある。本発明の別の目的は、デバイス工程の熱処理でウェーハ面内で均一なゲッタリング効果が得られるシリコンウェーハ及びその製造方法を提供することにある。本発明の更に別の目的は、所望の抵抗率に調整し得るシリコンウェーハ及びその製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る発明は、点欠陥の凝集体の検出下限値を 1×10^3 個/ cm^3 とするとき、前記点欠陥の凝集体の数が前記検出下限値以下でありかつ導電型がp型であって、 $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ の範囲内に抵抗率を調整したシリコンウェーハである。請求項1に係る発明によれば、点欠陥の凝集体が殆ど存在しないため、高い歩留まりで半導体集積回路を製造できる。また抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ であるため、既存のデ

【0007】請求項2に係る発明は、チョクラスキー法に基づいて、シリコン単結晶インゴット中のp型不純物が所定の第1濃度 C_1 、n型不純物が第1濃度より小さい所定の第2濃度 C_2 にそれぞれなるように、p型不純物とn型不純物とを原料シリコンを融解したシリコン融液にそれぞれ含ませて、シリコン融液からインゴットを引上げ、このインゴットから抵抗率を調整したシリコンウェーハを製造する方法である。請求項2に係る発明によれば、n型不純物の第2濃度 C_2 がp型不純物の第1濃度 C_1 より小さいため、導電型がp型であって、しかも抵抗率の調整されたシリコンウェーハを作製することができる。

【0008】請求項3に係る発明は、請求項2に係る発明であって、p型不純物がボロン、n型不純物がリン、アンチモン又は砒素であるとき、シリコン単結晶インゴット中の第1濃度 C_1 が $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ の範囲内に、第2濃度 C_2 が $0.90 C_1 \sim 0.999 C_1 \text{ atoms/cm}^3$ の範囲内にそれぞれなるようにp型不純物及びn型不純物をドーブし、かつイ

ンゴットの引上げ速度を V (mm/分) とし、シリコン融液とインゴットの接触面におけるインゴット鉛直方向の温度勾配を G ($^{\circ}\text{C/mm}$) とするとき、ウェーハの状態で熱酸化处理をした際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅するように、 V/G ($\text{mm}^2/\text{分} \cdot ^{\circ}\text{C}$) の値を決めてインゴットを引上げるシリコンウェーハの製造方法である。

【0009】請求項3に係る発明によれば、p型不純物のボロンの第1濃度 C_1 を $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上にして、 V/G 値をウェーハの状態で熱酸化处理をした際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅する条件で、インゴットを引上げることにより、第一に、このインゴットから作られたシリコンウェーハは熱処理によってウェーハ面内で均一かつ高密度に酸素析出物(Bulk Micro Defect、以下、BMDという。)が発生する。このBMDはデバイス工程中に侵入する微量の金属不純物を捕獲する、いわゆるイントリンシックゲッタリング(以下、IGという。)効果を生じさせる。また第二に、高濃度でドーブしたB原子と点欠陥(格子間Siと空孔)との相互作用によって、点欠陥の拡散又は平衡濃度に変化し、これにより格子間Si型点欠陥の凝集体(interstitial agglomerates)の形成が抑制されるため、シリコンウェーハにはLDは全く現れない領域が広がる。また第三に、OSFがウェーハ中心部で消滅するときの引上げ速度 V は、ボロンを高濃度にしな

【0010】

【発明の実施の形態】本発明のシリコンウェーハは、CZ法によりホットゾーン炉内のシリコン融液からインゴットを所定の条件で引上げた後、このインゴットをスライスして作製される。この所定の条件は、インゴットの引上げ速度を V (mm/分)、ホットゾーン構造でインゴットーシリコン融液の接触面のインゴット鉛直方向の温度勾配を G ($^{\circ}\text{C/mm}$) とするとき、 V/G ($\text{mm}^2/\text{分} \cdot ^{\circ}\text{C}$) の値を制御して決められる。ここで、 G は具体的にはシリコン融液との接触面に近い $1412 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ のインゴットにおけるその鉛直方向の温度勾配をいう。前述したように、このCZシリコンウェーハは、熱酸化处理(例えば $1000 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ で $1 \sim 2$ 時間)を受けたときに、リング状のOSFが生じることがある。このOSFリングは、 V/G 値が大きくなるにつれてインゴットの外周側に移動し、 V/G 値が小さく

なるにつれてリング径が小さくなり、ウェーハ中心部でディスク状になった後、消滅する。

【0011】このことを図1(a)に基づいて説明する。図1(a)は引上げ速度Vを徐々に低下させてV/G値を連続的に低下させたときのインゴットの縦断面図である。このインゴットは導電型がp型で抵抗率が1~15Ωcmになるように、 1×10^{15} atoms/cm³の濃度でボロンがドーピングされて引上げられている。図1(a)には、インゴット内で空孔型点欠陥が支配的に存在する領域[V]と、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域[I]と、空孔型点欠陥の凝集体及び格子間シリコン型点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域[P]とが存在する。インゴットの軸方向位置P₁は、中央に空孔型点欠陥が支配的に存在する領域を含む。位置P₃は格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在するリング領域及び中央のパーフェクト領域を含む。また位置P₂は中央に空孔型点欠陥の凝集体が実質的に存在せず、縁部分に格子間シリコン型点欠陥の凝集体も実質的に存在しない、全てパーフェクト領域である。空孔型点欠陥の凝集体は、前述したCOPの他に、LSTD (Laser Scattering Tomograph Defects) 又はFPD (Flow Pattern Defects) と呼ばれる欠陥を含む。LSTDとは、シリコン単結晶内に赤外線を照射したときにシリコンとは異なる屈折率を有し散乱光を発生する源であり、FPDとは、インゴットをスライスして作製されたシリコンウェーハを30分間セコ (Secco) エッチング液で化学エッチングしたときに現れる特異なフローパターンを呈する痕跡の源である。

【0012】この位置P₁に対応したウェーハW₁は、中央に空孔型点欠陥が支配的に存在する領域を含む。位置P₃に対応したウェーハW₃は、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在するリング及び中央のパーフェクト領域を含む。また位置P₂に対応したウェーハW₂は、中央に空孔型点欠陥の凝集体が実質的に存在せず、縁部分に格子間シリコン型点欠陥の凝集体も実質的に存在しないので全てパーフェクト領域である。この空孔型点欠陥が支配的に存在する領域のパーフェクト領域に接する僅かな領域は、ウェーハ面内でCOPもLDも実質的に発生していない領域である。しかしこのシリコンウェーハW₁に対して、酸化性雰囲気下、例えば1000~1200℃で1~2時間熱処理すると、OSFを生じる。図3に示すように、ウェーハW₁ではウェーハの半径の1/2付近にOSFリングが発生する。このOSFリングで囲まれた空孔型点欠陥が支配的に存在する領域[V]はCOPが出現する。

【0013】一方、このOSFのリング径はV/G値を一定にしておいても、p型不純物であるボロン(B)のドーピング量に応じて変化する。図3に示すように、OSFのリング径をD₁、ウェーハの径をD₀とし、このときのD₁/D₀とボロンの濃度との関係を図4に示す。図4か

ら明らかなように、ボロン濃度が 2×10^{17} atoms/cm³以下では、リング状をなし、約 6×10^{17} atoms/cm³以上になると消滅する。図1(b)及び図1(c)に、V/G値を連続的に低下させたときの図1(a)と同じ軸方向位置のインゴットの縦断面図をそれぞれ示す。図1(b)では導電型がp型で抵抗率が0.04Ωcm以下になるように、 1×10^{18} atoms/cm³の濃度のボロンがドーピングされてインゴットが引上げられている。また図1(c)では導電型がp型で抵抗率が1~15Ωcmの範囲内になるように、 1×10^{18} atoms/cm³の濃度のボロンと 0.999×10^{18} ~ 0.985×10^{18} atoms/cm³の濃度のリンがそれぞれドーピングされてインゴットが引上げられている。

【0014】図1(b)及び図1(c)では図1(a)と同じ位置P₁で熱酸化処理した際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅したウェーハが得られる。図1(b)及び図1(c)の位置P₁に代表されるウェーハは、図1(a)の位置P₂に対応するウェーハであって、中央に空孔型点欠陥の凝集体が実質的に存在せず、縁部分に格子間シリコン型点欠陥の凝集体も実質的に存在しないので全てパーフェクト領域のウェーハである。しかしながら、図1(b)の位置P₁に代表されるウェーハは、抵抗率が0.04Ωcm以下と低いため、このウェーハの表面に10Ωcm程度のエピタキシャル層を積層したエピタキシャルウェーハの基板には適するものの、0.04Ωcm以下のままでは既存のデバイス工程との整合が図られない。これに対して、図1(c)の位置P₁に代表されるウェーハは、抵抗率が1~15Ωcmであって、既存のデバイス工程との整合が図られ、COPやLDなどの点欠陥の凝集体の数が検出下限値以下であるウェーハである。なお、COPやLDなどの点欠陥の凝集体は検出方法によって検出感度、検出下限値が異なる値を示すことがあるため、本明細書においては、鏡面加工されたシリコン単結晶を無攪拌エッチングを施した後に光学顕微鏡により、観察面積とエッチング取り代との積を検査体積として観察するとき、フローパターン(空孔型欠陥)及び転位クラスタ(格子間シリコン型点欠陥)の各凝集体が 1×10^3 cm³の検査体積に対して1個欠陥が検出された場合を検出下限値(1×10^3 個/cm³)とする。

【0015】図2(a)~(c)に図1(a)~(c)と実質的に同じインゴット縦断面図を示す。図2(a)は図1(a)に、図2(b)は図1(b)に、図2(c)は図1(c)にそれぞれ対応する。図2(a)~(c)においては空孔型点欠陥の凝集体も格子間シリコン型点欠陥の凝集体も実質的に存在しない全てパーフェクト領域[P]を製造し得るV/Gの範囲を比較して示す。図2から明らかなように、パーフェクト領域[P]

を製造し得るV/Gの範囲が図2(a)では僅かにRaであったものが、図2(b)及び(c)ではこれより広いRb、Rcとなり、図2(b)及び(c)において、V/Gの厳格な引上げ制御を行わなくても、全長にわたってパーフェクト領域[P]からなるシリコン単結晶インゴットを容易に製造することができる。

【0016】次に図1(c)の位置P₁に代表されるシリコンウェーハの製造方法について説明する。p型不純物のボロンを高濃度にドーピングすることにより低抵抗率になるシリコンウェーハの抵抗率を補償するためにドーピングするn型不純物としては、リン、アンチモン又は砒素が挙げられる。この中でリンがシリコン原子と共有結合半径の最も近いため好ましい。p型不純物のボロン濃度を第1濃度C₁とすると、濃度C₁は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ の範囲内であることが、熱酸化処理した際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅したウェーハを得るために必要である。好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ の範囲内である。またn型不純物のリン濃度を第2濃度C₂とすると、濃度C₂は濃度C₁より低い $0.90C_1 \sim 0.999C_1 \text{ atoms/cm}^3$ の範囲内であることが必要である。p型ウェーハの抵抗率を補償して $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ にするためである。この濃度C₂は好ましくは $0.95C_1 \sim 0.995C_1 \text{ atoms/cm}^3$ の範囲内である。p型不純物の偏析係数とn型不純物の偏析係数とは異なるため、インゴットのトップ側とボトム側とにおいて抵抗値は大きく変化する。このため、シリコン単結晶(インゴット)の引上げ方法としてはドーパントの追加供給が可能な連続引上げ(CCZ)法がインゴット全長にわたって抵抗値を均一化でき好ましい。

【0017】

【実施例】次に本発明の実施例を比較例とともに説明する。

<実施例1>ウェーハにおける抵抗率 $10 \Omega \text{ cm}$ 、ボロン濃度 $1.00 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 及びリン濃度 $0.99 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ を目標として、CCZ法によりシリコン単結晶インゴットを引上げた。高純度の多結晶シリコン20kgを初期原料とし、この原料とともに金属ボロン1.26gと、リンをドーピングしたシリコンドーパント14.7gと、リンをドーピングした単結晶シリコンのリチャージ塊状物20kgとを石英るつぼに入れ、この石英るつぼを加熱して原料及びドーパントを融解した。また金属ボロンを含む粒状多結晶シリコンを引上げ中にシリコン融液に徐々に供給した。この供給原料は合計で32kgであった。実施例1と同じ引上げ速度 $V=0.8 \text{ mm/分}$ 、インゴット中心の温度勾配 $G=3.4^\circ\text{C/mm}$ 、 $V/G=0.23 \text{ mm}^2/\text{分} \cdot ^\circ\text{C}$ で引上げ、直径6インチで直胴部が900mmのインゴットを得た。前述したように、ボロンとリンの各偏析係数は相違するが、ボロンのドーパントを追加補充して

補正することにより、図5に示すようにインゴットの長さが大きくなって固化率が1に近づいても、抵抗率は引上げ初期のときと比べて変化が少なかった。

<比較例1>引上げ速度Vを 0.9 mm/分 にした以外、実施例1と同じ条件でインゴットを引上げた。

【0018】<比較例2>実施例1と同じ目標値をもって、金属ボロン2.20gと、リンをドーピングしたシリコンドーパント25.6gと、リンをドーピングした単結晶シリコンのリチャージ塊状物35kgとを石英るつぼに入れ、この石英るつぼを加熱して原料及びドーパントを融解した。引上げ速度 $V=0.8 \text{ mm/分}$ 、インゴット中心の温度勾配 $G=3.4^\circ\text{C/mm}$ 、 $V/G=0.23 \text{ mm}^2/\text{分} \cdot ^\circ\text{C}$ でシリコン単結晶インゴットをCZ法により引上げた。この引上げ条件はドーパントをドーピングしないときの図3に示す D_1/D_0 が0.9になる条件にほぼ等しい。引上げたインゴットは直径6インチで直胴部が600mmであった。ボロンの偏析係数が0.8及びリンの偏析係数が0.35であるため、インゴットの長さが大きくなって固化率が1に近づく程、図6に示すように抵抗率は変化し、インゴットの導電型はp型からn型へ反転した。

<比較例3>引上げ速度Vを 0.9 mm/分 にした以外、比較例2と同じ条件でインゴットを引上げた。

【0019】<比較例4>ウェーハにおける抵抗率 $10 \Omega \text{ cm}$ 、ボロン濃度 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ を目標として、高純度の多結晶シリコン35kgとともに、ボロンをドーピングしたシリコンドーパント1.78gを石英るつぼに入れ、この石英るつぼを加熱して原料を融解した。実施例1と同じ引上げ速度 $V=0.8 \text{ mm/分}$ 、インゴット中心の温度勾配 $G=3.4^\circ\text{C/mm}$ 、 $V/G=0.23 \text{ mm}^2/\text{分} \cdot ^\circ\text{C}$ でCZ法により引上げ、直径6インチで直胴部が600mmのインゴットを得た。

<比較例5>引上げ速度Vを 0.9 mm/分 にした以外、比較例4と同じ条件でインゴットを引上げた。

【0020】<比較例6>ウェーハにおける抵抗率 $0.02 \Omega \text{ cm}$ 、ボロン濃度 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ を目標として、高純度の多結晶シリコン35kgとともに、金属ボロン2.2gを石英るつぼに入れ、この石英るつぼを加熱して原料を融解した。実施例1と同じ引上げ速度 $V=0.8 \text{ mm/分}$ 、インゴット中心の温度勾配 $G=3.4^\circ\text{C/mm}$ 、 $V/G=0.23 \text{ mm}^2/\text{分} \cdot ^\circ\text{C}$ でCZ法により引上げ、直径6インチで直胴部が600mmのインゴットを得た。

<比較例7>引上げ速度Vを 0.9 mm/分 にした以外、比較例6と同じ条件でインゴットを引上げた。

【0021】<比較評価>実施例1及び比較例1~7の各インゴットからスライスされたシリコンウェーハをそれぞれラッピングし、面取り加工を施した後、鏡面研磨をした。このようにして得られたシリコンウェーハをそれぞれ酸素雰囲気下、 1100°C で1時間熱処理してO

SFの発生の有無を調べた。またドナーキラー熱処理後、四端子抵抗測定法により各シリコンウェーハの抵抗率を測定した。続いて実施例1及び比較例1～7の各シリコンウェーハ表面の直径144mmの円内における $0.11\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下のCOPの数をレーザーパーティクルカウンタ(KLA-Tencor社製、SF56200)を用いて調べた。また実施例1及び比較例1～7の各シリコンウェーハをセコ(Secco)エッチング液に攪拌せずに30分間浸漬し、これにより現れる特異なフローパターンの有無を見出した後、更に光学顕微鏡でエッチングピットの有無を観察し、FDP及びL

Dの有無を調べた。

【0022】更に半導体デバイス製造工程に模して、これらのシリコンウェーハを 800°C で4時間、引続いて 1000°C で16時間熱処理した。熱処理した後、このウェーハを劈開し、ウェーハ表面をライト(Wright)エッチング液で選択エッチングを3分間行い、光学顕微鏡の観察により、ウェーハ表面から深さ $300\mu\text{m}$ におけるウェーハ中心部から周縁部に至るまでのBMDを測定しその密度を求めた。これらの結果を表1に示す。

【0023】

【表1】

	引上げ 速度 (mm/分)	OSF リング* 径(mm)	抵抗率 (Ωcm)	COP 密度 ($/\text{cm}^2$)	FPD 密度 ($/\text{cm}^3$)	LD 密度 ($/\text{cm}^3$)	BMD密度 ($/\text{cm}^3$)
実施例1	0.8	OSFなし	7~11	0.02	※	※	$1\times 10^{10}\sim 1\times 10^{11}$
比較例1	0.9	5	7~11	0.7	1×10^4	※	$1\times 10^{10}\sim 1\times 10^{11}$
比較例2	0.8	OSFなし	p/n反転	0.02	※	※	$1\times 10^{10}\sim 1\times 10^{11}$
比較例3	0.9	5	p/n反転	0.6	1×10^4	※	$1\times 10^{10}\sim 1\times 10^{11}$
比較例4	0.8	40	10	17	25×10^4	※	OSFリング*内: 1×10^{10} OSFリング*外: 1×10^9
比較例5	0.9	50	10	20	3×10^4	※	OSFリング*内: 1×10^{10} OSFリング*外: 1×10^9
比較例6	0.8	OSFなし	0.03	0.02	※	※	$1\times 10^{10}\sim 1\times 10^{11}$
比較例7	0.9	5	0.03	0.7	1×10^4	※	$1\times 10^{10}\sim 1\times 10^{11}$

表中、「※」は検出下限値($1\times 10^3/\text{cm}^3$)以下を意味する。

【0024】表1から明らかなように、ボロンとリンをドーブした、引上げ速度 0.8mm/分 の実施例1のウェーハには、OSFは出現せず、またCOP、FPD及びLDの各密度も実質的に0であった。更に熱処理後のBMD密度は $1\times 10^{10}\sim 1\times 10^{11}$ 個/ cm^3 であり、IG効果を有することが判った。これらに対して、比較例2及び3では固化率(インゴットの長さ)が約0.3を越えたところでp型からn型へ導電型が反転した。また比較例4、5のウェーハでは、酸化性雰囲気下の熱処理でOSFリングが現れ、比較例1、3及び7のウェーハでは、ディスク状のOSFが現れた。これに伴い、比較例2及び6を除いた比較例1、3、4、5、7のウェーハではCOP密度が実施例1と比べて多く、特に比較例4及び5のウェーハでは熱処理後のBMD密度がOSFリングの内側と外側とで大きく相違し、ウェーハ面内で均一なIG効果が得られないことが判った。更に比較例6及び7のウェーハでは、抵抗率が $0.03\Omega\text{cm}$ であって、所望の $1\sim 15\Omega\text{cm}$ の抵抗率ではなかった。

【0025】

【発明の効果】以上述べたように、本発明のシリコンウェーハは点欠陥の凝集体が殆ど存在しないため、高い歩

留まりで半導体集積回路を製造できる。また抵抗率が $1\sim 15\Omega\text{cm}$ であるため、既存のデバイス工程との整合を図ることができる。またシリコン単結晶を引上げるときにp型不純物とこれより少ないn型不純物の双方をドーブするため、所望の抵抗率に調整したp型シリコンウェーハが得られる。更にボロンの濃度 C_1 を $1\times 10^{17}\sim 1\times 10^{20}\text{atoms}/\text{cm}^3$ の範囲内に、リン、アンチモン又は砒素の濃度を $0.90C_1\sim 0.999C_1\text{atoms}/\text{cm}^3$ の範囲内にして、ウェーハの状態での熱酸化処理をした際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅するように、V/G値を決めてインゴットを引上げることにより、第一に、このインゴットから作られたシリコンウェーハのウェーハ面内で均一かつ高密度にBMDを生じさせ、IG効果が得られる。第二に、高濃度でドーブしたB原子が格子間Si及び空孔と相互に作用することにより、格子間Siの過飽和度が低下するため、格子間Si型点欠陥の凝集体の形成が抑制され、シリコンウェーハにはLDは全く現れないと考えられる。また第三に、ボロンをドーパントとして抵抗率 $10\Omega\text{cm}$ のインゴットを得る通常の引上げ速度と比較して、OSFがウェーハ中心部で消滅するときの引上げ速度Vは高く、インゴットの生産性を高める。更に第四

に、シリコンウェーハの抵抗率を $1 \sim 15 \Omega \text{cm}$ に調整することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 (a) ボロンを低濃度でドーピングしてV/G値を変化させて上げたときのシリコン単結晶インゴットのX線トポグラフィの概略図。

(b) ボロンを高濃度でドーピングしてV/G値を変化させて上げたときのシリコン単結晶インゴットのX線トポグラフィの概略図。

(c) ボロンを高濃度で、かつ抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{cm}$ に調整されるようにリンをドーピングしてV/G値を変化させて上げたときのシリコン単結晶インゴットのX線トポグラフィの概略図。

【図2】 (a) ボロンを低濃度でドーピングしてV/G値を変化させて上げたときのシリコン単結晶インゴットの

X線トポグラフィの概略図。

(b) ボロンを高濃度でドーピングしてV/G値を変化させて上げたときのシリコン単結晶インゴットのX線トポグラフィの概略図。

(c) ボロンを高濃度で、かつ抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{cm}$ に調整されるようにリンをドーピングしてV/G値を変化させて上げたときのシリコン単結晶インゴットのX線トポグラフィの概略図。

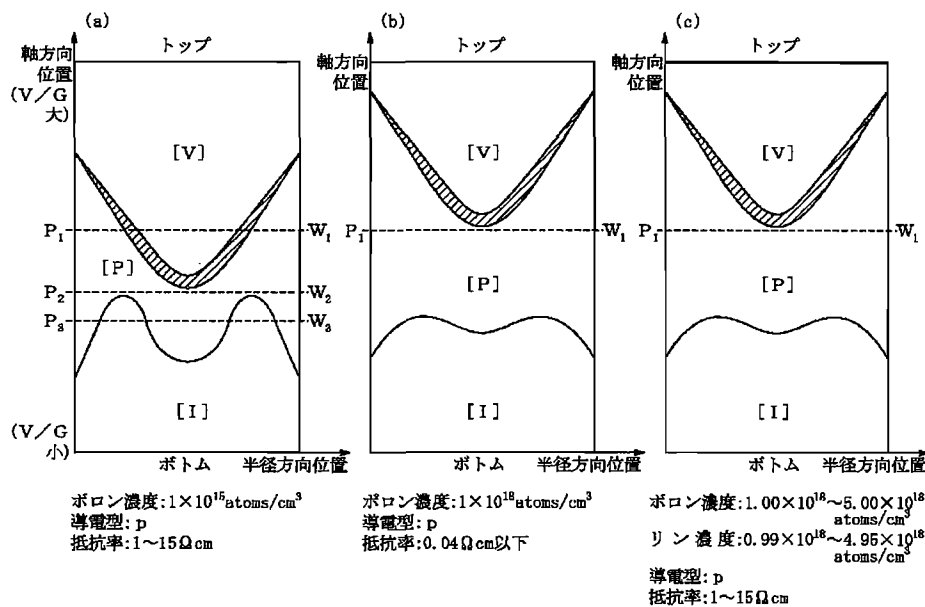
【図3】 OSFを生じたシリコンウェーハの平面図。

【図4】 V/G値を一定にしてB濃度を変えたときの D_1/D_0 の値の変化を示す図。

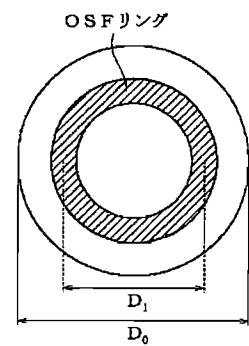
【図5】 実施例1のインゴットを上げたときのインゴット長により抵抗率が変化する状況を示す図。

【図6】 比較例2のインゴットを上げたときのインゴット長により抵抗率が変化する状況を示す図。

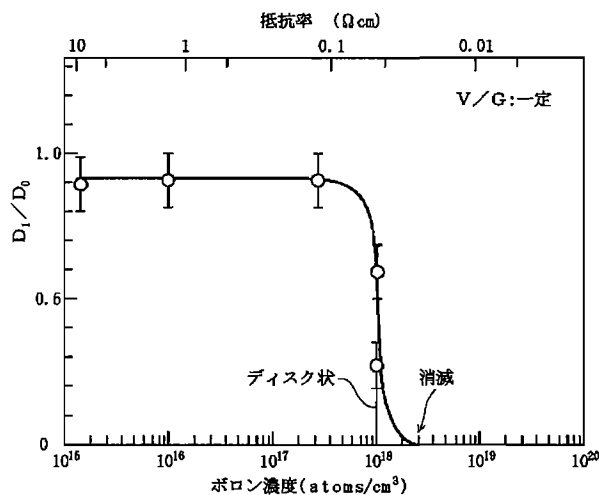
【図1】



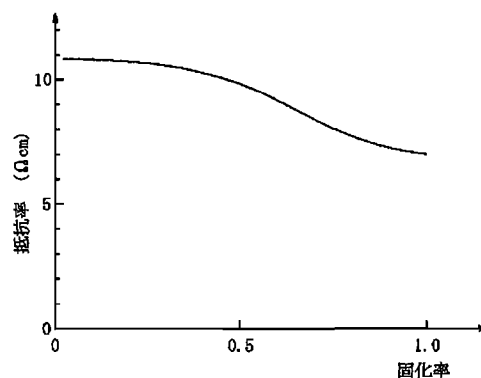
【図3】



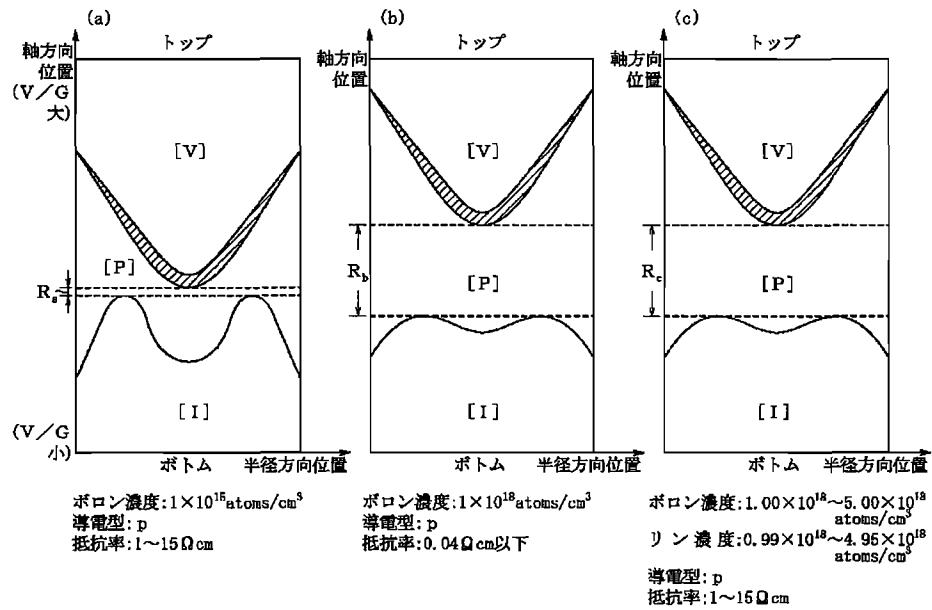
【図4】



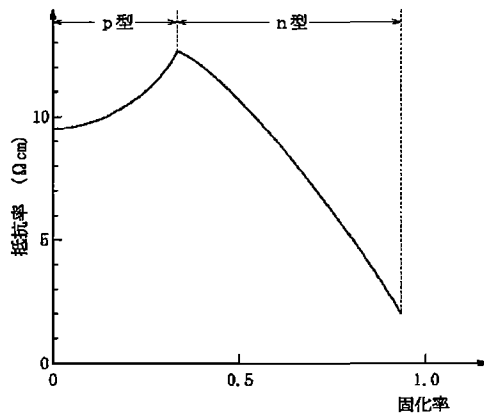
【図5】



【図 2】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 白木 弘幸
東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三
菱マテリアルシリコン株式会社内

Fターム(参考) 4G077 AA02 BA04 CF10 EB01 FE17
5F053 AA12 DD01 FF04 GG01 JJ01
JJ03 RR01